FIRMWARE MANUAL

D2842-400-HB

D2842-400-HB · 出厂固件 FOC_Double_C · 使用说明书

副标题	D2842-400-HB · 出厂固件 FOC_Double_C · 使用说明书
品牌	Daliang Auto
产品型号	D2842-400-HB
适用硬件	硬件 2.0、硬件 3.0。两版各用对应的固件，不能互换（§1.4）
固件名称	FOC_Double_C
固件版本	硬件 2.0：0.4.29（构建标识 c7ed931，2026-09-24 发布） 硬件 3.0：0.5.0（构建标识 9fe4a05，2026-10-27 发布；镜像 244932 字节，CRC32 13ffdadc）
文档版本	Rev. 1.8
发布日期	2026-10-27
控制台	USB Type-C 虚拟串口，115200 8N1，无流控
对外接口	控制台命令行 · =tlm 遥测 · 整车 CAN · VGUS 触摸屏

本书与规格书的分工

- 《D2842-400-HB 产品规格书》描述硬件：电气参数、引脚、连接器、功率能力、机械尺寸。 规格书随硬件版本修订，不随固件修订。
- 本书描述出厂固件：命令、标定流程、控制逻辑、保护动作、通信协议、升级方式。 固件每发布一版，本书相应修订一版，两者各自独立修订。
- 两本书中均出现的量（例如母线电压范围、霍尔极性）以规格书为准； 本书只说明固件如何使用这些量。

本书对应硬件 2.0 的固件 0.4.29 与硬件 3.0 的固件 0.5.0。未注明硬件版本的内容两版相同； 只适用于其中一版的内容，标注「硬件 2.0」或「硬件 3.0」。两版的差异汇总见 §1.4。 板上运行的固件版本以 `ver` 命令的输出为准，不能根据出厂日期推断。 各版本之间的差异见 §12 版本历史，其中标注了各项功能的起始版本。

---

1. 固件概述

出厂固件使本板成为可直接使用的双路电机驱动器：接好电机、霍尔和电源， 通过 USB 线完成一次标定后，即可由踏板、触摸屏或整车 CAN 驱动。用户无需编写代码。

本板同时支持用户自行开发固件（SWD 与 USB 一键下载均已就绪，硬件资源见《产品规格书》的引脚分配表与连接器一览表）。 本书只描述出厂固件。

1.1 功能地图

层	固件提供的功能
电机控制	双路独立三相 FOC：电流（转矩）、速度、位置、开环电压 / 开环转速五种模式
自学习标定	一条命令测出所接电机的接线、电阻电感、霍尔换相表与机械增益，结果存储在本板 Flash 中
整车通路	踏板 / 拨杆 / 触摸屏 / CAN / 控制台五个指令源，按固定优先级仲裁；提供挡位、限速、档位带、刹车驱动
极简模式	适用于无电脑、无触摸屏、无挡位开关的整车，通过一次踏板手势使能（0.4.15 起，出厂默认开启，见 §6）
保护	硬件 2.0 为 23 个故障码，硬件 3.0 为 25 个（增加板温与刹车断线两项）。每条对应「切桥 / 降额 / 仅报告」三档动作之一；切桥动作一律锁存
对外接口	供人工操作的命令行、供程序读取的 `=tlm` 遥测、与控制板对接的整车 CAN、与仪表对接的 VGUS 屏
升级	独立 Bootloader 加单个应用区，串口升级，镜像自带版本与校验信息。0.4.18 起无回滚，且升级会清空标定，升级前须按 §11.3 备份

1.2 四条对外通路

通路	对端	物理层	本书章节
控制台命令行	操作人员（终端软件）	USB Type-C（USART1），115200 8N1	§2 – §7
`=tlm` 遥测	程序：上位机、测试脚本、SDK	同上，与命令行共用一条串口	§10.1
整车 CAN	上位控制板	经典 CAN，≤ 1 Mbps	§10.4
VGUS 触摸屏	仪表	外部 TTL 串口 CN36	§10.5

板上各连接器在出厂固件中的用途及所收信号见 §1.3。

1.3 接口功能定义

《产品规格书》给出各连接器所接引脚及针序。本节说明两项内容： 出厂固件对各接口的用途，以及各接口收发的信号与格式。

针序、间距、电平耐压、功率能力见规格书（§9 通信接口、§10 遥控输入、§11 控制 I/O、 §16 连接器一览表），本节不重复。

注：本节内容可能随固件版本变化；规格书上述章节不随固件版本变化。

1.3.1 接口用途一览

指令输入

连接器	引脚	出厂固件的用途	输入信号
CN26	PB1	模拟油门（`thr_src 0`，出厂默认的油门源）	0 – 5 V 直流模拟量，见 §1.3.2
CN2	PA3 / PB10	PWM 油门 ×2（`thr_src 3` / `4`）	占空比方波（非舵机脉宽）。硬件 2.0 仅可接 5 V 信号源；硬件 3.0 可接 3.3 V 与 5 V 信号源，见 §1.3.2
U6 · RC1	PB9	遥控通道 1	舵机 PWM，1000 – 2000 µs
U6 · RC2	PD3	遥控通道 2	舵机 PWM
U6 · RC3	PD2	遥控串行链路	S.BUS 或 iBUS（可切换），见 §1.3.2
CN4	PC3	模式（挡位输入之一）	干接点，低有效
CN6	PF9	方向（挡位输入之一）	干接点，低有效
CN3	PF10（硬件 2.0）	硬件 2.0：急停输入（非刹车开关，见 §1.3.4 第一条）	常闭干接点：闭合 = 运行，开路或断线 = 停止
CN3	PB12（硬件 3.0）	硬件 3.0：模拟刹车输入（3 针）	刹车把手的直流模拟量，见 §1.3.2
CN5 / CN40	CAN1	整车 CAN，与上位控制板对接	经典 CAN ≤ 1 Mbps，见 §10.4
CN36	USART3（PD8 / PD9）	VGUS 触摸屏	A5 5A 变量帧，波特率自动搜索，见 §1.3.2
USB1	USART1	控制台命令行 + `=tlm` 遥测	ASCII 文本行，115200 8N1，无流控
SW2	PF2	本地锁：长按一次切换（0.4.11 起）	板载按键，不外接
SW3	PC5	硬件 3.0：本地锁拨码开关，闭合即锁定	板载拨码开关，见 §1.3.2
板载电位器 ×2	PE14 / PE15	台架旋钮（`pot_bench_ma`）或油门源（`thr_src 1` / `2`）	出厂默认关闭（`pot_debug`），见 §9.4

功率与反馈

连接器	出厂固件的用途	说明
P4 / P6	电机 1 / 电机 2 三相线	相序无需人工确定，由 `learn` 测出
U15 / U9	电机 1 / 电机 2 霍尔（5P：+5 V、GND、HA、HB、HC）	六路霍尔信号均经板上反相施密特缓冲，固件已还原该反相；霍尔表由 `learn` 实测，无需人工换算
P5	有刷 H 桥输出：刹车电缸 / 执行器	出厂默认不驱动，须执行 `brake on` 并 `save`，见 §5.3
P7	母线泄放电阻	由硬件比较器独立控制，44.1 V 开启 / 43.1 V 关闭。固件只能读取状态和强制关闭，不能开启
RT1 / RT2	两路功率级板温 NTC（仅硬件 3.0）	固件读取两路板温，用于降额（§8.1 码 24）
J1 / F1 / CN1	主电源、保险、外接电源开关	固件不参与
P1 / P2 / P3 / CN7 / U2	+24 V / +12 V / +5 V / +3.3 V 输出	固件不参与
H1	SWD 调试	见规格书 §14

1.3.2 各路输入信号

模拟油门（CN26）：0 – 5 V 直流模拟量

项目	内容
输入信号	0 – 5 V 直流电压。适用于霍尔式踏板或电位器踏板
连接器	2.0 mm 3P：1 = GND / 2 = THR / 3 = +5 V（可直接为踏板供电）
板上前端	分压 ×0.667 + RC 滤波，5 V 输入对应 ADC 端约 3.33 V
固件读数单位	固件中的单位为连接器端毫伏，分压已在驱动层还原。命令与参数中的 mV 值即为在 CN26 第 2 脚用万用表测得的电压
两个端点	出厂默认 800 mV（松开） / 4200 mV（踩到底），按常见霍尔踏板取值。两端均可修改，也可用命令从踏板实测
有效带	**300 – 4800 mV**。带外读数不视为踏板位置，该路判为失效，不产生油门需求
带外处理	高低两端均设限。信号线断开时读数接近 0，对应松开状态；信号线与电源短路或传感器在高位失效时读数高于有效带上限，不产生油门需求
判定时间	连续 100 ms 一致才改变判定，单次毛刺不会使该路判为失效

PWM 油门（CN2）：占空比信号

项目	内容
输入信号	一路方波，需求值编码在占空比中。适用于控制器输出、PLC 通道、手持控制盒等信号源
硬件 2.0：仅可接 5 V 信号源	CN2 前端为 2 kΩ 串联 3.3 kΩ 下拉（62.3%）。5 V 信号源在 MCU 端为 3.11 V，可正确识别；3.3 V 信号源在 MCU 端仅 2.06 V，低于 MCU 的 VIH（2.31 V），高电平无法识别，表现为该路无响应。该限制由硬件决定，固件无法补偿
硬件 3.0	前端改为 1 kΩ 串联 10 kΩ 下拉（90.9%）并加钳位，3.3 V 信号源在 MCU 端约 3.0 V，3.3 V 与 5 V 信号源均可接入
与遥控口的区别	RC1 / RC2 / RC3 前端为 1 kΩ 串联 100 kΩ（99%），3.3 V 与 5 V 接收机均可接入
允许周期	50 Hz – 20 kHz。范围外的脉冲视为毛刺，不计入
超时	60 ms 内无新边沿即判定该路失效
0% 与 100% 占空比	恰好 0% 或恰好 100% 时无边沿，与未接线无法区分，固件按未接线处理。静止时输出 0% 的信号源，须将端点设在行程范围之内

遥控（U6 的 RC1 / RC2 / RC3）

项目	内容
RC1 / RC2	常规接收机的舵机 PWM，1000 – 2000 µs
RC3	串行链路，两种协议可选： S.BUS：100000 baud，8E2，反相，25 字节帧，16 个 11 位通道，值域 172 – 1811，对应 1000 – 2000 µs iBUS：115200 baud，8N1，不反相，32 字节帧，14 个 16 位通道，单位为微秒，帧尾 16 位校验和
RC3 电平反相	无需外接反相器。RC3 接 MCU 的 UART 接收端，由芯片内置硬件反相直接接收 S.BUS；iBUS 使用同一路并关闭反相
仅接收	该 UART 的发送端已用于电机 PWM。需要回传的协议（S.BUS2 遥测、F.Port 双向部分）只能使用接收方向
电平	三路均为 1 kΩ + 100 kΩ 下拉 + 100 pF，3.3 V 与 5 V 接收机均可直接接入
超时	60 ms（约三个帧周期）无信号即判定该路失效

项目	内容
链路状态	「从未接入」与「接入后中断」分别报告：前者指示接线问题，后者指示链路问题。`rc` 命令分别报告这两种状态，并报告边沿数、帧数和被拒帧数
帧校验	两种协议均整帧校验（S.BUS 校验帧尾，iBUS 校验和），校验失败的帧不被使用，接收端重新对齐帧并计数

模式 / 方向（CN4 / CN6）与急停（CN3，硬件 2.0）：干接点

项目	内容
输入信号	无源触点。板上每一路为 100 Ω 串阻 + 10 kΩ 上拉到 +3.3 V + 10 nF 对地
有效电平	低有效（触点闭合到 GND 为有效）。不得从外部施加电压
挡位解码	CN4「模式」断开：N；CN4 闭合且 CN6「方向」断开：D；两路均闭合：R。开关输入无法选择 P（无可命令的驻车制动，P 与 N 动作相同）
未接线状态	三路均读高电平，解码为 N，不出力
去抖	20 ms
极性	出厂为低有效，可修改。两种极性下，未接线状态均为安全状态
未接线检测	无法通过电平判断：未接线的输入与已接线且处于 N 的输入在电气上相同。需确认接线时使用 `io` 命令，该命令主动驱动该线并检测其响应

急停（CN3，仅硬件 2.0）

硬件 3.0 没有急停输入：CN3 改为模拟刹车输入（见下文），电源开关即为停机手段。 在硬件 3.0 上执行 `estop on` 会被拒绝（`refused: this hardware has no emergency-stop input`），见 §8.3。

项目	内容
接线	常闭到 GND 的急停回路：闭合 = 运行，断开或断线 = 停止
常闭逻辑	断线与按下急停结果相同，均报故障码 `estop`
出厂默认未布防	`estop_armed` 出厂为关闭，且为存盘参数。注：CN3 未接线时呈开路状态，与断线相同；未接 CN3 时布防，本板将始终处于急停状态
装车要求	接好 CN3 之后必须显式布防并存盘，否则该回路不起作用。请列入整车出厂检查项
与控制源的关系	急停不是控制源：不产生指令，不参与优先级，不能被任何控制源覆盖。急停通过故障机制使本板停机

模拟刹车（CN3，仅硬件 3.0）

项目	内容
输入信号	刹车把手的直流模拟量，3 针连接器，针序与供电见《产品规格书》
板上前端	分压 ×0.667，并有 20 kΩ 对地下拉：未接把手或信号线断开时读数约为 0 V，可与松开的把手区分
固件读数单位	连接器端毫伏，分压已在驱动层还原
判定	低于 400 mV：未接把手；400 – 1200 mV：把手在线、未刹车；1200 mV 及以上：刹车
作用	刹车位与其他控制源的刹车位取「或」，送到刹车驱动（P5 有刷 H 桥，须先 `brake on` 并 `save`，见 §5.3）。**该输入不切断、不降低电机需求**

项目	内容
断线	读到过在线电压之后，读数低于 400 mV 持续 50 ms，报 `[25] brake-wire`（仅报告，锁存，`clear` 清除）。上电后从未接过把手不报故障
查看	上电自检的 `brake :` 行；`=tlm` 的 `mode` 记录 `brk_mv` / `brk_wired` / `brk_on`

本地锁拨码（SW3，仅硬件 3.0）

项目	内容
动作	拨码闭合即进入本地锁（与长按 SW2 相同：本板暂不接受总线指令，CAN `0x211[7]` bit6 置位），蜂鸣 `lock` 一次
闭合期间	本地锁保持，无法解除
拨开之后	本地锁不会自动解除，须长按 SW2 或在控制台执行 `lock off`

触摸屏（CN36）：VGUS 变量帧

项目	内容
串口	CN36：1 = GND / 2 = 板侧 RX / 3 = 板侧 TX / 4 = +5 V。信号线为 3.3 V 电平，不耐 5 V
波特率	由固件自动搜索：依次尝试 9600、115200、19200、38400、57600、128000，采用能收到结构正确应答的波特率。屏更改配置后可重新识别
帧格式	`A5 5A <LEN> <CMD> <ADDR_H> <ADDR_L> <数据…>`。`LEN` 为从 `CMD` 起至帧尾的字节数（不含帧头与 `LEN` 本身）；地址与数据为大端；无校验和
帧头顺序	帧头为 `A5 5A`。部分 DGUS 资料使用 `5A A5` 顺序，按该顺序发送的帧会被本屏静默丢弃
命令字	`0x82` 写变量，`0x83` 读变量
屏 → 板	模式 `0x05A1`、速度档 `0x05C1`、挡位 `0x05E1`
板 → 屏	车速 `0x02E5`、连接指示 `0x05E6`（兼作心跳）、电量 `0x05EB`、母线电压 `0x05EC`（0.1 V/字）、母线电流 `0x05F0`（0.1 A/字，含符号）、使能指示 `0x0608`（GBK 文本控件）、录制灯 `0x0618`、保存灯 `0x0619`
通信节奏	链路建立后每 100 ms 探测一次；500 ms（连续五次）无应答判定为丢失
丢屏处理	报 `hmi-lost`（仅报告），触摸屏控制源失效，挡位被收回，车辆滑行停止；须先松开踏板，才会再次接受挡位。不切桥

整车 CAN（CN5 / CN40）与控制台（USB1）

接口	收发内容	详见
CN5 / CN40	经典 CAN ≤ 1 Mbps，两个接口可级联，SW4 投切 120 Ω 终端。本板接收 `0x210`，发送 `0x211`（20 ms）与 `0x212`（100 ms）。收到控制板报文之前不发送任何帧	§10.4
USB1	ASCII 文本：每行一条命令；回复为文本行，供程序读取的内容使用 `=tlm` / `=param` / `=calib` 等前缀行	§2、§10.1

1.3.3 出厂固件不使用的接口

位置	引脚	状态
U6 第 4 列	PB11 / PB7 / PB6	扩展 GPIO，固件不配置也不读取。硬件 3.0 上 PB7 改作栅极驱动器 2 的故障输入，不再引出到 U6
U6 第 5 列	PE6 / PD1 / PD0	扩展 GPIO，固件不配置也不读取

注：这六个引脚（硬件 3.0 为五个）预留给二次开发（规格书 §19.4）。在出厂固件下，接到这些引脚上的信号不会产生任何响应。

1.3.4 接线注意事项

一、硬件 2.0 的 CN3 为急停输入，不用作刹车开关；硬件 3.0 的 CN3 为模拟刹车输入。 硬件 2.0 的《产品规格书》§11 / §16 将 CN6 / CN4 / CN3 标注为「方向 / 模式 / 刹车」；出厂固件中 CN3 为急停输入。接线以本节为准。 硬件 3.0 的 CN3 为 3 针模拟刹车口（§1.3.2），不能接急停开关。

注意：`estop_armed` 出厂为关闭。接好 CN3 之后若不显式布防并存盘，该回路不起作用，且不产生任何报错（见 §1.3.2）。

二、硬件 2.0 的 CN2 两路 PWM 油门仅可接 5 V 信号源；遥控口可接 3.3 V 与 5 V 信号。 硬件 2.0 两者前端分压比相差一个数量级（CN2 为 62.3%，U6 为 99%）。 3.3 V 信号接入硬件 2.0 的 CN2 时，该路无响应，而接线、参数和协议均无错误。硬件 3.0 无此限制。

1.4 硬件 3.0 与硬件 2.0 的差异

两版硬件使用两条固件线：硬件 2.0 使用 0.4.x，硬件 3.0 使用 0.5.x（首版 0.5.0）。 0.5.0 包含 0.4.29 的全部功能，下表只列不同之处。

项	硬件 2.0（固件 0.4.x）	硬件 3.0（固件 0.5.x）	见
CN3	急停输入（常闭干接点）	模拟刹车输入（3 针）	§1.3.2
急停输入	有（CN3）	无。电源开关即为停机手段，`estop on` 被拒绝	§8.3
栅极驱动器故障	由 CPU 每毫秒轮询后关断	接入定时器刹车输入，**硬件直接封锁 PWM**，不经过 CPU；故障锁存，仍报 `[2] drv`	§8.3
本地锁	SW2 长按	SW2 长按，另有 SW3 拨码（闭合即锁定）	§1.3.2
板温	无温度传感器	两路 NTC，70 °C 起降额，100 °C 降至零	§8.1
开机识别硬件版本	不识别	识别；镜像与电路板不符时拒绝打开功率级	§1.4.1
台架命令看门狗	无	控制台静默 10 秒，停止正在执行的台架命令	§8.2
CN2 PWM 油门	仅 5 V 信号源	3.3 V / 5 V 信号源	§1.3.2
发布包目录	`FOC_Double_C-<版本>-<构建标识>`	`FOC_Double_C-<版本>-<构建标识>-hw3.0`	§11.2

外观区分：硬件 3.0 的板上有 SW3 拨码开关、3 针的 CN3 和两颗 NTC。 已上电的板子以 `ver` 输出中的 `hw_detected=` 为准（仅 0.5.0 及以后的固件报告）。

1.4.1 开机识别硬件版本（硬件 3.0，0.5.0 起）

0.5.0 在上电自检的第一步、唤醒栅极驱动器之前，读取三个只在一版硬件上有上拉的引脚，判断电路板是 2.0 还是 3.0：

镜像	识别为 2.0	识别为 3.0	无法识别
0.5.x（硬件 3.0 镜像）	拒绝打开功率级	正常	拒绝打开功率级，每秒重新识别一次

上电自检输出示例（硬件 3.0 板）：

```
hw ident : hw_detected=3.0 (this firmware: hw 3.0) pd6=0/8 pb15=0/8 pb7=8/8 high
```

0.5.x 烧到硬件 2.0 板上时，自检在该行之后输出拒绝原因，`en` 同样被拒绝：

```
  !! power refused: this is a hardware 2.0 board (PD6/PB15 pulled up) and this image is for 3.0 -- flash the 2.0 firmware line
```

`ver` 中对应的一行：

```
hw       : built for 3.0, board reads hw_detected=3.0 (pd6=0/8 pb15=0/8 pb7=8/8 high, 1 probe(s))
```

警告：0.4.x 不识别硬件版本。将 0.4.x 烧到硬件 3.0 板上时，本板照常开启功率级， 但两路栅极驱动器的故障输入处于悬空状态，故障可能误报或漏报。硬件 3.0 板只能使用 0.5.x。 上位机按出厂登记的硬件版本选择固件线，登记的硬件版本须与实物一致。

---

2. 连接控制台

2.1 接线与串口参数

物理连接	板上 USB Type-C，内置 USB-UART 桥接，连接电脑后识别为一个 COM 口
串口参数	**115200 8N1，无流控**
DTR / RTS	**必须拉低。**这两根线在桥接芯片一侧可能连接到复位或下载引脚，未拉低时，终端软件可能使功率级带电的本板复位

上电后本板每秒自动输出一行心跳，无需先输入命令。正常状态示例：

```
[123] vbus=38010 mV loop=20000 Hz isr=1207/1213 cyc drv=000/000 i1=7/6/35 mA
```

字段	正常值
`vbus=`	母线电压，单位 mV（`38010` = 38.0 V）
`loop=20000 Hz`	电流环正在运行。该值不正确时不要进行后续操作
`drv=000/000`	两个桥均处于关断状态。上电时应为此值

注：心跳输出会打断正在输入的命令字符的显示。

2.2 命令运动标记

本书所有命令均带有下列标记，执行前请先确认：

标记	含义
[不运动]	机器不会运动。查询、设置、存盘，功率级不导通
[带电]	机器不会主动运动，但功率级已带电。手推车轮时可能产生反向力矩

标记	含义
[运动]	机器会运动。执行前确认车轮悬空，或车辆周围无人

同样的分级也记录在机器可读的命令表 `COMMANDS.json` 中（字段 `danger`： `none` / `gates` / `motion`）， 上位机据此锁定按钮，见 §10.3。

2.3 停止命令

```
stop                    [不运动]  使机器停止，任何时候均可执行
```

`stop` 不带参数，不检查任何前提条件，直接关断两个桥、清零所有需求、两路回到 idle， 并锁存 `user-stop` 故障。须显式执行 `clear` 才能继续运行，后续命令不会清除该锁存状态。

```
clear                   [不运动]  重新使能：驱动器、电流零点，然后清除故障
```

2.4 首先执行的三条命令

```
ver                     [不运动]  固件版本、镜像长度、CRC、MCU 唯一 ID
stat                    [不运动]  各通道当前状态
setup                   [不运动]  本板尚未完成的设置项
```

`ver` 应输出 `crc ok`。若输出 `NOT STAMPED`，表示该镜像为开发构建，镜像本身未损坏， 但不应在生产或交付中使用。

`id` （0.4.13 起）用一行输出本板身份信息，供上位机自动识别。 `hw_rev=` 为镜像编译所针对的硬件版本 （0.4.25 起为 `2.0`，此前为 `C`；0.5.x 为 `3.0`），不是识别结果：

```
=id 1 board model=FOC_DOUBLE_C hw_rev=3.0 board=foc_double_c uid=<24hex> fw_ver=0.5.0 ...
```

---

3. 电机与整车标定

本板出厂时未存储所接电机与所装整车的信息。这些信息分两个流程录入， 两个流程相互独立，可分开进行：

流程	内容	录入方式
一、测量	接线相序、绕组电阻电感、霍尔换相表、机械增益	本板为电机通电自动测量（ `learn` ）
二、录入	极对数、铭牌功率、轮周长、转速上限	按铭牌和实测值手动填写（ `param set` / 专用命令）

流程二不是流程一的前提条件。极对数不在测量流程的必需步骤中。 `calib status` 同时报告测量流程的进度和尚待填写的录入项。

3.1 流程一：测量（ `learn` ）

四个必需步骤一次完成，结果存储在本板 Flash 中。更换电机或电机供应商后，重新执行一遍即可。

步	测量内容	说明
`wiring`	接线是否接反、B/C 是否对调	电压矢量扫描一整圈并进行匹配评分，不依赖任何电机参数。判据不达标时拒绝执行，不写入默认值
`rl`	相电阻 R、绕组电感 L、逆变器有效死区	闭环两点法，在死区补偿开启和关闭时各测一次；由斜率得到 R，由截距变化得到死区

步	测量内容	说明
`hall`	本机霍尔安装角，即换相表	电流对齐扫描（288 步/圈 × 双向），测量跳变点而非扇区中心；滞后角过大时自动加大电流重新扫描
`inertia`	机械增益 K	速度环增益由 K 推算得出，无需手动整定

三个可选步骤：`pp`（极对数计数，见 §3.2）、`window`（分流放大器建立时间）、`flux`（磁链 λ / Ke，仅用于诊断，不写入 Flash，断电后需重新执行）。

一条命令完成全部必需步骤（0.4.15 起）：

```
en 2                          [带电]  功率级带电
learn 2 auto                  [运动]  依次执行四个必需步骤，期间桥保持导通
save                          [不运动]  写入 flash
```

执行前车轮必须悬空且周围无障碍物：`inertia` 步骤会驱动车轮转动，然后令其惯性滑行。

注意：整个标定过程中，控制台静默时间不得超过 10 秒。会使机器运动的标定步骤设有 dead-man 保护：控制台静默 10 秒即中止标定并关断桥。一次 `learn auto` 需运行四十秒至一分半，上位机在此期间须持续轮询 `calib status`（10 秒内至少一次）。

也可以逐步执行（`learn 2 wiring` / `rl` / `hall` / `inertia`）。命令被拒绝时均给出原因，最常见的三种如下：

提示信息	处理方法
`bridge is off -- 'en <m>' first`	`en <m>`
`motor is not idle -- 'mode <m> idle' first`	`mode <m> idle`
`safety tripped`	`clear`

标定结束后，除磁链外的每一项均立即回读校验，并打印完整的派生链供人工核对。未标定的通道拒绝进入转矩及以上模式，并指明缺少的步骤，不使用默认值。

3.2 流程二：录入（手动填写的四项）

本板可输出下表（`calib list`），每一项附有未填写时的影响：

项	每台电机各一份	未填写的影响
`pole_pairs` 极对数	是	无法进入速度模式，踏板无响应
`watts_cap_w` 铭牌功率	是	堵转门限和绕组热额定按默认值计算，保护点不正确
`wheel_mm` 轮周长	否（整车一份）	车速与里程均不正确，且读数表面上合理，不易察觉
`speed_limit_rpm` 转速上限	否	无法进入速度模式

命令：

```
pp <m> <n>                    [不运动]  极对数，已知时直接写入
drive watts <m> <W>           [不运动]  该电机的铭牌功率
drive wheel <mm>              [不运动]  轮周长
param set speed_limit_rpm <rpm>   [不运动]  转速上限
```

两项易出错的设置：

- 轮周长须将车轮在地面上滚动一圈实测，不要根据轮胎侧壁标注的直径计算。

- 极对数填错不产生任何故障现象，只影响转速和里程读数，电机照常运转。 极对数以电机铭牌或规格书为准，用 `pp <m> <n>` 写入。注意部分资料给出的是极数，极对数为其一半。
- `learn <m> pp` （[不运动]，桥必须关断，由人手动转动车轮，本板计数）只用于铭牌和规格书都无法获得的情况。 其结果的准确性取决于手动转动的圈数是否准确，须以不同圈数执行两次，确认所得结果一致。

注： `learn <m> pp` 是唯一要求桥关断的标定步骤。桥处于开关状态时，手转电机产生的电流经桥形成回路， 对被测车轮产生制动。桥关断时绕组为开路。

3.3 存盘

```
save                    [不运动]  写入 flash（要求两个桥均关断），写完回读校验
load                    [不运动]  从 flash 读回
forget                  [不运动]  恢复出厂值
```

`save` 之前，先用 `param get` 核对需要保存的量：写入的是本板当前实际持有的值， 不一定是此前设置的值。

---

4. 运行模式

三级串级结构，每一级均可单独作为对外接口：

```
轨迹发生器 → 位置环 → 速度环 → 电流环(FOC) → SVPWM → 三相桥
                  ↑         ↑         ↑
              位置指令  转速指令  转矩指令      任一级都可直接下命令
```

模式	命令	说明
转矩（电流）	`mode <m> torque` + `iq <m> <mA>`	d-q 解耦 PI，20 kHz 电流环
速度	`mode <m> speed` + `sref <m> <elec rad/s>`	四象限，可回馈制动
位置	`mode <m> position` + `pref <m> <deg>` + `plim <m> <rad/s>`	位置环 + 加加速度限幅轨迹
开环电压 / 转速	`mode <m> ol` + `volt` / `spd`	用于调试与自学习
空闲	`mode <m> idle`	释放（滑行，非制动停止）

双路完全独立：两台电机各有独立的参数、限幅、故障与铭牌数据，互不影响。

三种模式的前置条件逐级叠加（torque ⊂ speed ⊂ position），拒绝信息指明缺少的层级：

模式	额外要求	拒绝信息
`torque`	绕组与增益	`not commissioned -- 'learn <m> wiring', then 'rl', then 'hall'`
`speed`	+ 机械增益 K	`no mechanical plant -- run 'learn <m> inertia' first`
`position`	+ 极对数	`pole pairs not counted -- 'learn <m> pp'`

4.1 初次使用注意事项

一、 `sref` 的单位为电角速度 rad/s，不是 rpm。 机械 rpm = `sref × 60 / (2π × 极对数)`。 控制台会换算并打印对应的 rpm，执行后请核对该值。

二、 `iq` / `sref` / `pref` 的转向可能与 D 挡方向相反。 双电机整车中，两侧电机镜像安装， 直行时两台电机转向相反。整车通路（油门 / 挡位）会处理该方向关系， 控制台直接命令不经过该处理。控制台执行时会给出相应提示。

三、转矩模式不限制转速。 对空载车轮施加电流时，电机持续加速，直至母线电压不足。 此时实际电流小于指令值，属于电压包络保护在报告电压不足，并非调节器故障。 首次施加电流时请从小电流开始。

4.2 位置模式的静止分辨率

仅有霍尔反馈时，转子静止不产生边沿，位置无法内插，估计值被量化到扇区中心。 静止分辨率为 **±30° 电角**（15 对极时为 ±2.0° 机械角）。位置环据此设有分辨率死区， 避免在扇区边界产生粘滑极限环。

该分辨率属于规格限制，调整增益不能改善。需要更高静止精度时，请选用带编码器的机型。

4.3 控制台直接命令的安全上限

控制台直接命令的上限低于整车通路。

	控制台上限	整车通路
电流 `iq`	**3 A**	`drive imax` 可到 20 A
电压 `volt`	**6 V** / 轴	—
开环转速 `spd`	600 rad/s	—

---

5. 整车通路

§4 说明直接命令电机的方法；本节说明各控制源的需求如何到达电机，两者为不同的通路。

```
drive                    [不运动]  各控制源、合并结果，以及实际到达电机的需求
drive on                 [带电]  允许合并后的需求到达电机
drive off                [不运动]  切断（各源仍被读取，但需求不到达电机）
```

`drive on` 只打开需求通路，不选择控制环；控制环由 `mode <m> speed` 选择。

5.1 控制源与优先级

本板同时接受多个指令源，优先级固定：

```
控制台(串口) > 触摸屏(VGUS) > 整车 CAN > 遥控(RC) > 踏板使能手势 > 拨杆/开关量 > 踏板
```

- 油门形式：模拟电压、PWM ×2、SBUS、CAN、串口
- 开关量：方向（CN6）与模式（CN4），低有效干接点，两路组合解码出挡位； 硬件 2.0 的 CN3 为急停输入，不用作刹车开关（见 §1.3.4 第一条）； 硬件 3.0 的 CN3 为模拟刹车，把手在线时提供刹车位
- 刹车位不按优先级选取：任何一个控制源发出刹车，即送到刹车驱动（§5.3）
- 挡位选择器兼作钥匙：空挡时不出力
- 所有拒收都会给出提示：指令被更高优先级的源覆盖或与当前模式不符时，均明确报告， 不会静默忽略

注：控制台设置的 `thr 0`、`gear p` 仍是控制台发出的有效指令，不表示归零。控制台优先级最高， 这些设置保留时，踩踏板无响应。将车辆交由踏板控制之前，须执行一次 `road` （§5.4）。

5.2 限速：两个上限取较小值

参数	作用
`drive limit <rpm>`	转速上限（0 = 关）
`drive band <kph>`	满档（100%）对应的 km/h
档位（`band <percent>`）	在上述两个上限上再乘以一个百分比

`drive` 会打印实际生效的上限，无需手动计算：

```
band : 35% selected.  IN FORCE: 87 rpm = 4.1 km/h, set by 'drive limit'
       (the two: 'drive limit' 250 rpm x 35% = 87 rpm; band 25 km/h x 35% = 182 rpm -- the lower wins)
```

档位只缩放转速上限，不削减扭矩。最低档与最高档扭矩相同，只是最高转速不同。

档位带设定会保持，设置它的控制源断开后仍然有效。例如控制板设置 60% 后断开，油门交还给踏板， 转速上限仍保持在 60%，重新上电后才恢复满档。 `drive` 会显示当前档位的设置来源及设置时间。

5.3 刹车驱动

板载有刷 H 桥用于驱动刹车电缸或执行器。出厂默认关闭：

```
brake on                        [带电]  使能刹车驱动
save                            [不运动]
```

装有刹车执行器的整车，调试时必须执行 `brake on` 并 `save`， 否则每次上电后本板均不驱动执行器，且 CAN 上 `0x211[0]` bit7 报 0。

注意：未执行该步骤时，本板不产生任何报错。请将其列入整车出厂检查项。

硬件 3.0：CN3 刹车把手（§1.3.2）的刹车位同样经此驱动执行器，未执行 `brake on` 时把手不起作用。 刹车把手只控制执行器，不切断电机需求。

5.4 交由踏板控制之前：`road`

```
road                            [不运动]
```

以下任一项残留，都会使整车显示已使能，但踩踏板无响应：

- 控制台仍占用油门（即使值为 0）；
- 控制台未释放过挡位；
- 手动设置的速度带仍然生效；
- 测试时设置的 rpm 上限；
- 为使空载车轮静止而调低的电流上限；
- 上一次 `stop` 留下的锁存。

`road` 一次撤销以上全部设置，并开启自动使能。

注意： `road` 用于将车辆交付使用，不用于结束台架工作。 `road` 会开启自动使能， 并清除 `drive limit`； `drive limit` 是档位缩放的基准，台架设置的限速会随之清除。

台架工作结束时执行以下三条：

```
stop        （或 dis 1 + dis 2）    [不运动]
drive off                           [不运动]
drive auto off                      [不运动]  关闭自动使能
```

5.5 纯 CAN 控制的整车：挡位互锁与自动起桥

以下两项可能使纯 CAN 控制的整车在 CAN 通信、使能、挡位显示 D、标定、两路母线电压均正常的情况下无法行驶。

一、挂挡请求须在油门为 0 时发送

本板设有换挡互锁：油门踩下时，不允许从空挡挂入 D 或 R。

控制器发送 `0x210` 时，挂挡那一帧的油门字节必须为 0。 挡位生效后再发送油门。

互锁生效时，遥测显示油门已被接受而挡位未被接受：

```
canreq: thr=890  gear=1(F)  flags=121(allow_drive=1)   ← 控制器发送
veh:    throttle=890  gear=2(N)  armed=0  demand=0     ← 本板合并结果
```

同一控制源、同一帧中油门生效而挡位未生效，表示换挡互锁生效。 0.4.18 起，遥测 `veh` 记录中 `gearblk=1` 表示该状态 （`drive` 命令打印 `HELD: release the pedal`）。

二、起桥：0.4.18 起无需设置

「使能」指允许电流到达电机的状态。

0.4.18 起，控制板在总线上发出「允许驱动」时，本板自动起桥， 无需设置任何参数。须同时满足三个条件：挡位归 CAN 所有、链路有效、 `ALLOW_DRIVE` 置位。三个条件每个周期重新判定，控制板停止发出允许驱动时，条件即不成立。

注：该功能仅在总线控制挡位时生效。控制台或触摸屏覆盖挡位时不适用； 挡位由触摸屏控制时，按触摸屏的规则处理。

0.4.17 及更早的固件上，纯 CAN 控制且关闭极简模式（§6）的整车在出厂默认设置下无法起桥， 且本板不提示原因。出现该现象时，先确认固件版本，并升级到 0.4.18 或更高版本。

0.4.18 起， `armed=0` 时必定附带原因：遥测 `veh` 记录中的 `armwhy=` 为原因码， `stat` 将其转换为文字说明。 `armed=0` 均有对应原因，应根据 `armwhy` 排查。

---

6. 极简模式与踏板使能手势（0.4.15 起）

适用于没有电脑、没有触摸屏、也没有挡位选择器的整车。此类整车上没有其他途径指示本板起桥， 因此以一个不会被意外触发的踏板动作代替。

6.1 出厂默认开启

`simple_mode` 的出厂默认值为 **1（开启）**。

警告：未专门设置过该参数时，只要有人在踏板踩下的状态下上电，然后松开踏板，本板即自动使能。

§6.3 中的判据均保持有效；台架上踏板松开或未接踏板时，无法完成该手势。 装机流程须按默认开启编写。

不需要该功能的整车（有触摸屏、有挡位选择器或由 CAN 控制）请显式关闭：

```
param set simple_mode 0          [不运动]
save                             [不运动]
```

显式关闭会被记录为已明确关闭，今后默认值即使变更，本板也不会自动重新开启该功能。

6.2 使能手势

上电之前将踏板踩到底，上电并保持，然后松开。

阶段	判据	参数	默认
稳定	上电后前 50 ms 不做判断（模拟前端启动）	固定值，不可修改	50 ms
到底	行程 ≥ `arm_full_pct`	`arm_full_pct`	90 %
保持	到底状态持续 `arm_hold_100ms`	`arm_hold_100ms`	500 ms
松开	行程 ≤ `arm_rest_pct`	`arm_rest_pct`	5 %
静止	松开后静止 `arm_settle_100ms`	`arm_settle_100ms`	500 ms
整个手势	必须在上电后 `arm_window_100ms` 内完成	`arm_window_100ms`	15 s

手势成立后，本板只执行一个动作：请求 D 挡。本板不发出油门（油门由踏板源发出），也不绕过任何原有条件：母线电压窗口、通道能否使能、是否已标定、电流零点标定均照常判断。`stop`、急停、跳闸、dead-man 四条停机路径均不受影响。

6.3 手势判据

信号线断开或对电源短路时，读数会到达轨电压，与踩到底时的读数相同。手势设有以下三项判据：

判据	说明
有效带	踏板读数必须在 0.3 – 4.8 V 带内（霍尔踏板规格 0.8 – 4.2 V）。任何一次读数出带即判为故障，整个手势立即作废
过渡时长	从踩到底到松开之间若无中间行程（小于 30 ms），判为信号线脱落，手势无效
持续时间	每个判据均为「电平 + 持续时长」，单次跳变不计入；另有 50 ms 的开机宽限期

油门源不是踏板时，不执行手势判断，并给出提示。注：板载电位器的读数覆盖全量程，所有读数均为合法读数，上述有效带判据对电位器不起作用。

6.4 踏板零点

踏板松开时的读数通常不为零（实测约 3%）。手势「静止」阶段测得的读数作为该车的零点，使能后按该零点重新映射，低于零点的读数一律视为 0。

该零点只在运行中使用，不作为标定写入 flash，不改变行程标定。行程测量结果仅作报告，是否采用由用户通过 `thr cal` 决定。

6.5 出车前的台架检查

现场使用时，手势失败只有蜂鸣提示，不给出原因。出车前应在台架上查看 `drive` 的输出：`simple_mode` 开启时，`drive` 额外打印三行：

```
simple  : ON -- pedal to the floor BEFORE power, then let go
          gesture dead -- the pedal was not at the floor when the board came up
          floor>=90% rest<=5% hold=500 ms settle=500 ms window=15000 ms
```

6.6 与挡位开关同时使用的限制

同时装有挡位开关并开启极简模式的整车，手势完成后，将开关拨到 N 不起作用（触摸屏和 CAN 仍然有效）。本板无法区分开关未接线与开关处于 N 两种状态。

同时装有两者的整车，请关闭 `simple_mode`。

---

7. 蜂鸣器：七个音型

板载有源蜂鸣器是本板在无屏幕时唯一的输出方式。装机时可先用 `beep <名字>` 逐一试听七个音型。

音型	声音特征	触发条件	处理
`ok`	一短（60 ms）	`save` 写入 flash 并回读成功	无需处理，已保存
`lock`	两短	本板停止接受总线指令	若为有意操作，无需处理
`unlock`	一中（220 ms）	本板恢复接受总线指令	同上
`trip`	一长（600 ms）	功率级被切断（任何锁存型故障）	停机。用 `fault` 查看原因；断电或执行 `clear`
`armed`	短 短 长	手势成立，所有已标定通道均已使能	可以行驶

音型	声音特征	触发条件	处理
`partial`	短 短 长 短	手势成立，但有通道未使能（通常因未标定）	可以行驶，但牵引力减半
`refused`	三短	手势完成，但本板未能使能	查看 `drive`；断电后重试

`trip` 是唯一的单个长音。`armed` 与 `partial` 前三声相同，`partial` 多一声短音。

---

8. 保护与故障

8.1 三档动作

统一故障总线，硬件 2.0 共 **23 个故障码**，硬件 3.0 共 **25 个**（码 24、25 仅硬件 3.0 有），每条对应以下三档动作之一：

动作	含义
`kill`	切桥并锁存，须显式执行 `clear` 才能恢复
`derate`	需求被压低，电机继续运转
`report`	记录并显示，不改变任何行为

```
fault                [不运动]  当前故障及处理方法
fault codes          [不运动]  完整的编号故障表（以板上输出为准）
```

故障表以板上 `fault codes` 的输出为准。下表码 1 – 23 依据固件 0.4.17 整理，码 24、25 依据 0.5.0，供离线查阅；两者不一致时以板上输出为准。

码	名字	动作	含义
1	`post`	切桥	上电自检未通过，禁止开启任何功率级
2	`drv`	切桥	栅极驱动器报故障：过流、过温、栅驱异常或供电欠压。硬件 3.0 上该故障同时由硬件直接封锁 PWM（§8.3）
3	`overcurrent`	切桥	某一相电流超过软件跳闸点
4	`bad-measure`	切桥	三相电流之和不为零，采样链中有一路异常
5	`bad-vbus`	切桥	母线读数超出本板可能的范围
6	`envelope`	降额	电压不足：调节器长时间处于上限，需求正被压低
7	`envelope-lost`	切桥	电压不足且需求已降至最低，反电动势超过桥可输出的电压
8	`hardfault`	切桥	处理器硬故障，已切断栅极并复位
9	`nmi`	切桥	不可屏蔽中断（本芯片上指 Flash ECC 不可纠错）

码	名字	动作	含义
10	`watchdog`	仅报告	上一次运行停止喂狗，被独立看门狗复位
11	`user-stop`	切桥	执行了 `stop`，桥被人为关断
12	`deadman`	切桥	桥带电、机器静止、无人操作达 5 分钟（见 8.2）。硬件 3.0 的台架命令看门狗也报此码（仅报告，见 8.2）
13	`overvoltage`	切桥	母线电压超过平台额定值，泄放未能及时抑制
14	`undervoltage`	切桥	桥在开关时，母线电压跌至栅驱所需电压以下
15	`chopper`	切桥	泄放电路状态与母线电压不一致
16	`stall`	切桥	有电流而转子不动，电流矢量也不旋转，全部电流集中在单相和单个功率管上
17	`no-sync`	仅报告	开环扫场时转子未跟随
18	`hall`	切桥	霍尔码非法（三线全高或全低不对应任何位置）
19	`hmi-lost`	仅报告	触摸屏心跳中断，此前由触摸屏发出的命令已失效
20	`estop`	切桥	急停输入有效：急停被按下，或急停回路断线（两种情况报同一故障码）。仅硬件 2.0
21	`winding-hot`	降额	绕组热估计达到连续额定值，需求被限制在该水平
22	`regen-full`	降额	母线无法继续吸收能量，回馈制动正在退出；下坡时表现为车辆不再被电机制动
23	`vbus-sense`	仅报告	母线电压的快速读数失效。不切桥：保护和电流环切换到轮询读数继续运行；停止后不再起桥，须断电后重新上电。该故障指示板上测量电路异常，与外部电源无关（0.4.16 起）
24	`board-hot`	降额	仅硬件 3.0。两路板温中较高者达到 70 °C，需求按温度线性压低，100 °C 时降至零；负载减轻、温度回落后自动恢复。任一路 NTC 读数到达满量程（传感器或其上拉失效）时按最高温度处理。记录值为进入降额时的板温（0.1 °C）
25	`brake-wire`	仅报告	仅硬件 3.0。模拟刹车输入读到过在线电压之后跌到约 0 V：把手脱落或断线。不切桥，油门与转向照常工作，但刹车把手失效，直到接回；该记录锁存，须 `clear` 清除

使用中需重点注意的三条：

- `winding-hot` 为降额，不是跳闸。长时间低速大电流爬坡时车辆动力减弱，属于保护动作。
- `regen-full` 表示电子制动正在退出，见下方警告。
- `estop` 断线与按下结果相同：急停回路为常闭对地，断线即停机（硬件 2.0）。

- `board-hot` 与 `winding-hot` 一样为降额，不是跳闸（硬件 3.0）。板温在上电自检的 `board :` 行和 `=tlm` 的 `mode` 记录中查看。
- `brake-wire` 不停车：出现后须先停车检查刹车把手接线（硬件 3.0）。

警告：下坡时出现 `regen-full`，表示电子制动正在失效，须使用机械刹车。电池充满或 BMS 停止接受充电电流时，固件无法将回馈能量转移到其他地方。

8.2 三个自动停机计时器

计时器	时长	条件
独立看门狗（IWDG）	500 ms	调度器被阻塞时复位
整车 dead-man	**5 分钟**（4 分钟时先警告）	仅在以下三个条件同时成立时计时：无任何需求、机器静止、所有控制源均未检测到人工操作（按键、挡位、开关变化、踏板移动）。行驶中不会触发
标定 dead-man	10 秒	仅在会使机器运动的标定步骤期间计时：控制台静默 10 秒即中止标定并关断桥
台架命令看门狗（硬件 3.0，0.5.0 起）	10 秒	某一路桥带电且模式不是 idle、整车通路关闭（`drive off`）、台架旋钮未开启、不在标定中时计时：控制台静默 10 秒即关断该路的桥（电机滑行）、清零需求、回到 idle，并报 `[12] deadman`（仅报告）。用于上位机程序退出或 USB 断开后，停止 `iq` / `sref` / `spd` / `volt` / `pref` 等台架命令

注：触摸屏的心跳应答不计为人工操作。

8.3 硬件级急停

硬件 3.0

栅极驱动器的故障信号接入定时器刹车输入：驱动器报故障（VDS 过流、过温、供电欠压等）时， 由硬件直接封锁两路 PWM，不经过 CPU。该故障锁存，报 `[2] drv`；故障信号仍有效时， `en` 被拒绝（`DRV<n> is holding nFAULT low`），故障解除后执行 `clear` 恢复。

该通路只覆盖栅极驱动器自身检测到的故障。软件过流、母线电压、看门狗、堵转等保护仍由 CPU 执行。 硬件 3.0 没有急停输入，电源开关即为停机手段。整机级的硬件急停能力须由系统设计者在板外实现。

硬件 2.0

警告：本板不提供硬件级急停通路。板上没有从输入到栅极、不经过 CPU 的关断通路 （栅极驱动器自身的 VDS 过流保护除外）。固件急停为 1 kHz 轮询的软件实现。 更换为自行开发的固件后，同样不具备硬件级急停通路。

整机级的硬件急停能力须由系统设计者在板外实现。本板只提供急停输入接口。详见《产品规格书》Rev. 1.2 §19.2 与「已知限制」一章。

8.4 主电源中断后执行 `clear`

主电源断开后恢复、而逻辑电源保持供电时（调试时 USB 保持连接，或整车更换电池）， 栅极驱动器会掉电复位，对应通道的电流测量会带有噪声（约 900 mA 峰峰值）。

该状态下，除噪声外其他读数均正常：零点位于中点、开路直流为几毫安、 故障寄存器无报错。唯一的表现是 `learn <m> rl` 每次都失败。

```
clear                          [不运动]  0.4.19 起，同时重启电流测量链
```

- 0.4.19 及以后：执行一次 `clear` 即可。回执中增加一句 `measurement chain restarted`； 恢复不成功时报告失败。
- 0.4.18 及更早： `clear` 无法恢复。它返回成功，零点和直流读数均正常， 但该通道仍不可用，只能复位整块板。

注意：整车更换电池属于正常工况。更换电池后若 `learn` 失败或电流读数异常， 先执行 `clear` （或复位），再排查其他原因。

8.5 供电恢复后自动重试自检（0.4.23 起）

0.4.23 起，上电自检因供电原因失败时，本板自动重试一次：

自动重试的项目	母线电压、栅极驱动、栅极驱动报故障、电流零点、电流采样初始化。这五项失败均表示主电源未就绪
重试时机	母线电压回到 **10–45 V 并稳定 1 秒**之后
重试次数	每次供电恢复只重试一次。重试不成功则保持失败状态，不反复重试
不自动清除的项目	霍尔、斩波等故障。这类故障与供电无关，不自动清除

控制台输出以下几行，前缀固定，可供程序直接识别：

```
POST retry: <结果>
re-armed: drivers reconfigured, measurement chain restarted, offsets re-zeroed, trip cleared
cannot re-arm: <原因>
```

更换电池的流程为：装上电池，待电压稳定后，本板自动恢复。 串口 `clear` 、CAN 清故障与自动重试执行完全相同的操作。

8.6 司机清故障： `0x210` 挡位字节 bit7（0.4.22 起）

控制板在 `0x210` 挡位字节的最高位（bit7）发出上升沿时，本板执行与串口 `clear` 相同的全部操作。 挡位仍位于低 3 位，两者互不影响。

注意：判定依据为 bit7 自身的上升沿，不是电平，与 `0x210[6]` 序列号的逐帧变化无关。

司机侧的触发动作（连拨两次 P / 长按 N / 屏幕按钮）由控制板决定， 见控制板说明书 §4.6。本板只识别该位的上升沿。

---

9. 参数

9.1 参数表以板上输出为准

```
param list                      [不运动]  所有可设置的量：名称、单位、范围、默认值、当前值、是否可存盘
param get <name>                [不运动]
param set <name> <v>            [不运动]
```

0.4.17 的参数表共 **47 行**。本书不列出参数表，以板上 `param list` 的输出为准。 `param list` 中的 `min` / `max` / `default` 与固件实际执行的限值来自同一处定义，两者一致。

9.2 使用规则

一、单位包含在参数名中，值均为整数。 例如 `vbus_mv=40152` ，而非 `vbus=40.152` 。 部分参数的单位经过缩放（ `%` 、 `100ms` 、 `kph10` 、 `10w` ）， `param list` 会给出单位。

二、命令回显成功不代表命令生效。 每次修改后均应回读。 `param set` 返回的是本板写入后 实际读到的值，不是发送的值。

三、 `save` 要求两个桥均关断。 保存的是本板当前实际持有的值。

9.3 两类特殊参数

- 静默参数（silent）：`simple_mode`、`estop_armed`、`pot_debug` 等。设置错误时首次使用即可发现， 未设置时不产生任何提示，上位机应将这些参数明确显示给操作员。
- 不存盘参数：`pot_bench_ma`（台架旋钮，见 9.4）复位后为 0，`param set` 成功时返回 `code=not-persisted`。

9.4 板载电位器：默认关闭（`pot_debug`）

板上两个电位器用于调试，出厂默认关闭。关闭时：

写入	返回
`param set thr_src 1`（或 2，选电位器作为油门）	`code=wrong-state`
`param set pot_bench_ma 500`（台架旋钮作为 iq 命令）	`code=wrong-state`

使用前须先执行 `param set pot_debug 1`。该开关同时控制上述两项。

关闭时，油门源立即从电位器切回踏板，并在控制台给出提示。

台架旋钮 `pot_bench_ma` 的值同时表示开关和量程（`param set pot_bench_ma 800` 即为开启， 且旋钮旋到底对应 800 mA），开启时必须同时给定授权的电流量程。该功能绕过整车仲裁 （挡位、速度带、整车限幅均不参与），电机层保护全部保留：功率上限、电压包络、 堵转计时、热降额、过流跳闸均有效。

---

10. 程序接口

10.1 `=tlm` 遥测

```
tlm                             [不运动]
```

格式：`=tlm <版本> <记录> <键>=<值> ...`，以 `=tlm end` 结束。所有值均为整数，单位包含在键名中。

当前版本号为 **2**。版本规则：

- 增加字段不改变版本号。解析器应能处理新增的字段。
- 改变字段含义时必须改变版本号。只支持版本 1 的客户端必须拒收版本 2 的数据，不得猜测含义。
- 客户端不得因版本号未知而拒收更低版本的数据。

记录：板级 `sys` / `veh`，CAN 四条 `can` / `canlink` / `cantx` / `canreq`， 每台电机各三行 `m1` / `m2`。

0.4.18 起，`veh` 增加五个键，用于判断车辆不动的原因（追加字段，版本号不变）：

键	含义
`gearblk`	挡位请求是否被拒绝。1 = 请求的挡位被互锁拒绝（见 §5.5 第一条）
`gearsel`	请求的挡位，与实际生效的 `gear` 分开报告
`gearsrc` / `thrsrc`	挡位和油门当前所属的控制源（`ctrl_src_t` 的枚举值）
`armwhy`	未使能的原因码， `stat` 将其转换为文字说明。 `0` = 已使能

`armwhy` 的码只增加、不重新编号；客户端遇到不认识的码时，应按「有原因但无法识别」处理， 不得视为 0。

0.4.24 起，`sys` 增加三个键，记录上一次运行的结束方式（追加字段，版本号不变）：

键	含义
`rst_wdog`	1 = 上一次运行被看门狗复位（程序卡死）
`rst_cpu`	1 = 上一次运行因处理器故障结束（HardFault 类）

键	含义
`rst_trip`	1 = 上一次运行在跳闸状态下结束

注意：这三个键在复位后保留，断电后清零。三个键均为 0 时，表示上一次为正常关机，或本板刚经历过断电。

`build` 记录：0.4.25 起报告 `hw=`（镜像所针对的硬件版本）；0.5.0 起另报告 `hw_detected=`（开机识别结果，见 §1.4.1）。 两者不一致时，本板拒绝打开功率级。

硬件 3.0（0.5.0 起），`mode` 记录增加以下键（追加字段，版本号不变）：

键	含义
`brk_mv` / `brk_wired` / `brk_on`	模拟刹车读数（连接器端 mV）、把手是否在线、是否在刹车
`ntc1` / `ntc2` / `ntc_max` / `ntc_diff`	两路板温、较高者、两者之差（°C）
`board_pm` / `board_ok`	板温降额系数（‰，1000 = 不降额）、两路 NTC 读数是否有效

两个坐标系的约定：

字段	坐标系
`rpm_veh` / `iq_veh_ma`	整车坐标系：正 = 向前。判断加速或制动时须使用这两个字段
`rpm` / `iq_ma`	电机自身坐标系。双电机整车中一侧电机反向安装，该侧的这两个字段与整车速度符号始终相反

一份遥测快照中的各字段并非同一时刻的值（分别由 20 kHz 中断和 1 kHz 任务更新，取快照时不加锁）。 不要用其中两个字段计算需要同时性的量，例如电压乘电流。需要功率时，使用环内计算并上报的功率值。

10.2 `=param` 与 `=calib`

配置界面用 `param list` 获取参数表，标定向导用 `calib list` / `calib status` 获取两张表 （测量 7 步 / 录入 4 项，当前帧版本 **2**）。

`calib status` 为每个通道提供 `needs=` 字段，列出该通道尚待填写的录入项。 上位机必须向用户显示该字段：测量步骤显示「4/4 完成」时，若极对数未填写， 该通道仍无法进入速度模式。

10.3 命令表 `COMMANDS.json`

机器可读的命令清单随发布包提供，不存储在板上。共 59 条命令，每条包含：

字段	说明
`id`	只追加，不复用。上位机的中文说明按该字段关联
`name`	实际发送的命令词
`args`	参数格式
`scope`	`board` / `motor`
`needs`	`none` / `idle` / `bridge` / `torque` / `commissioned`，界面据此置灰
`danger`	`none` 只读 / `gates` 改变本板状态但不会使机器运动 / `motion` 可使机器运动

一条命令有多种形式时，`danger` 取其中最高的等级。

10.4 整车 CAN

经典 CAN，与上位控制板对接。协议由控制板一侧定义，本板按该协议实现。 本板为拓扑 A（一板双电机）。

ID	方向	周期	内容
`0x210`	控制板 → 本板	20 ms	油门‰、转向‰、allow_drive / brake 标志、挡位、速度档位、序列号、超时请求

ID	方向	周期	内容
`0x211`	本板 → 控制板	20 ms	health、两轮车架机械转速、挡位回显、指令有效位
`0x212`	本板 → 控制板	100 ms	母线电压 mV、母线电流（10 mA/LSB）、车速（0.1 km/h）

链路健康以序列号是否变化判定，不以是否收到帧判定。对端应用挂死但邮箱中残留帧时， 不会被判为健康。链路超时下限为 3 个帧周期，上限为 500 ms。

收到控制板报文之前，本板不发送任何帧。总线上没有控制板时，本板不主动发帧。

控制板一侧须遵守以下约定：

- `0x211[0]` bit7 = 刹车驱动已使能。该位表示板上存储的设置，不是测量值： 执行器脱落、断线或卡死时，该位仍为 1。该位只表示本板收到的 brake 位会被送到 H 桥， 不能作为车辆可以停止的依据。该位为 0 时有两种含义（未安装执行器 / 已安装但未使能）， 总线上无法区分，不要将 0 直接显示为刹车故障。
- `0x211[7]` bit6 = 本地锁生效中（0.4.11 起）： 本板暂不接受总线指令。
- `0x210` 挡位字节的 bit7 = 清故障（0.4.22 起，上升沿触发，见 §8.6）： 挡位仍位于低 3 位。控制板置位一帧即可，不要持续置位。
- 转向字段本板解析并回报，但不执行。两轮差速转向混合律需要标定， 未经实测不接入电机控制。
- 车速由本板换算后发出（`0x212`），消费端应直接使用该值，不建议自行用转速乘轮周长计算。 轮周长存储在本板上。

10.5 VGUS 触摸屏

仪表显示与本地操作经外部 TTL 串口。本板按固定节奏向屏推送状态，屏侧只负责显示与按键输入。 屏心跳中断时产生 `hmi-lost`（仅报告），车辆滑行停止，须先松开踏板才会再次接受挡位。

注意：外部串口 CN36 的信号线不耐 5 V，接 5 V TTL 设备时须在板外加电平转换。见《产品规格书》的通信接口与「已知限制」两章。

---

11. 固件升级

11.1 单槽，无回滚（0.4.18 起）

Bootloader 占独立分区，应用占**一个**区（464 KB）。

- 镜像自带描述头：版本、构建、校验，出厂可追溯。
- 升级通道：串口。CAN 升级协议开发中，本版不支持。

注：0.4.17 及更早为 A / B 双槽，应用区为 232 KB；0.4.18 起合并为单槽，应用区为 464 KB。

警告：单槽结构无回滚。升级过程中途中断时，板上将没有可用的应用程序。

升级中断后，Bootloader 和 ROM 引导两条通路在无应用程序时均可工作， 重新写入镜像即可恢复，无需返修。上位机使用 Bootloader 通路。

11.2 发布包内容

每个发布版本为一个目录，包含：

文件	说明
`FOC_Double_C-app.bin` / `.hex`	应用镜像。0.4.17 及更早为 `-slotA` / `-slotB` 两个文件
`bootloader.bin` / `.hex`	Bootloader
`MANIFEST.txt`	版本、构建标识、各镜像长度与 CRC32、工具链、构建时间、主机测试结果
`SHA256SUMS`	上述每个文件的校验和
`COMMANDS.json`	机器可读命令表（见 §10.3）

文件	说明
`BOARD_TEST.txt`	板上验收记录
`source.zip`	该版本的完整源码

硬件 3.0 的发布包目录名带 `-hw3.0` 后缀，例如 `FOC_Double_C-0.5.0-9fe4a05-hw3.0`； `MANIFEST.txt` 中的 `hw:` 行注明镜像所针对的硬件版本。上位机据此只向对应硬件版本的板子提供该发布包。

0.4.20 的 `MANIFEST.txt` 摘要：

```
name:        FOC_Double_C
version:     0.4.20
loader:      bootloader.bin  5364 bytes, crc32 d0d25cfe, load 0x08000000
application: FOC_Double_C-app.bin  233540 bytes, crc32 ..., load 0x08008000
host tests:  244246 checks, 0 failure(s)
```

11.3 升级会清空标定：升级前备份

警告：升级会清空板上存储的标定记录。升级前须按本节备份。

上位机的写入流程为：进入 ROM 引导 → **整片擦除** → 写入 → 逐块回读校验。 因此更新固件等同于整片重新烧写，板上存储的标定记录会被一并擦除。

被擦除的内容分两类：

内容	能否手动恢复
R、L、电流环增益、极对数、轮周长、额定功率、`auto_arm` 等设置	可以。通过 `param` / `mot` 命令，按备份记录重新输入
霍尔扇区表（两路各六个边界）	不能手动输入。只有 `learn <m> hall` 扫描能生成霍尔表，且须将驱动轮架空

已装车的整车重新执行霍尔扫描耗时较长，因此升级前须先备份。

升级前（0.4.20 起）

```
report                          [不运动]  完整换算链，保存一份
hall dump 1                     [不运动]  第 1 路的霍尔表
hall dump 2                     [不运动]  第 2 路的霍尔表
```

`hall dump` 会打印一行可直接粘贴回去的命令，格式如下：

```
put it back with:  hall set 1 15462343a96e139880c385ee3119ce f99b599c
```

将两路的这两行与 `report` 的输出一并保存为文本文件。

注意：这两行只对本板的对应通道有效。末尾八位为校验码，覆盖本板 UID 和电机号。 将一块板的霍尔表写入另一块板，或将第 1 路的霍尔表写入第 2 路，会被拒绝。 霍尔表与电机不匹配时，其他检查均不报错，电机仍能运转，但换相角存在几度偏差， 相同力矩下电流增大，且外部无明显异常。备份文件须按电路板 UID + 电机号归档，不要只按板型号归档。

升级后

```
hall set 1 <粘回第 1 路那一行>    [不运动]
hall set 2 <粘回第 2 路那一行>    [不运动]
save                              [不运动]  未执行 save 时仅保存在内存中
```

然后按 `report` 的记录重新输入 R、L、增益、极对数、轮周长、额定功率、`auto_arm`， 再执行一次 `save`。

注意： `hall set` 只恢复霍尔表。执行成功不代表全部标定已恢复； 接线方向、R/L、增益为各自独立的记录，缺少的仍需补齐，请用 `setup` 核对。

手动输入的数值不等于完成了对应的标定步骤。 以上步骤全部完成后， `setup` 显示三项均为 SET，而 `calib status` 仍将 `wiring` 列为下一步。 接线方向由测量得到， `mot` 只写入其数值，不将该步骤标记为已完成。

两类查询的区别：

问题	查询命令
本板当前使用的数值	`setup` / `report`：手动输入后显示正确
尚未执行的标定步骤	`calib status`：记录步骤是否执行过，手动输入数值不改变该状态

能正常行驶的整车无需为此重新执行 `learn`：数值齐全，电机正常出力。 需要「标定流程已完成」的记录（出厂验收、交付单）时，须实际执行一次 `learn <m> wiring`。

另有两点须注意： - `dtc`（死区补偿）按千分之一周期设置，而 `report` 按纳秒显示。 149 ns 和 144 ns 重新输入后均变为 150 ns（3‰）。几纳秒的差异不影响使用， 但数值不会与原值完全一致。 - `speed_limit_rpm` 等限速项不在上述清单中，属于整车配置， 须按整车重新设置。

0.4.19 及更早的固件：这些固件上 `hall dump` 打印的命令行超过控制台可接收的长度， 无法输入。从 0.4.19 或更早版本升级的这一次，霍尔表只能重新扫描； 升级到 0.4.20 之后，此后每次升级均可备份。

11.4 升级后的检查

```
ver                               [不运动]  版本号和 crc ok
setup                             [不运动]  标定与录入项是否仍在
```

- 按 §11.3 恢复标定。
- 核对 `param get simple_mode`：0.4.15 起该参数默认值为开启， 擦除后该参数恢复为默认值。
- 由 CAN 控制的整车，核对 `param get auto_arm`（见 §5.5）。
- 硬件 3.0：核对 `ver` 中 `hw_detected=3.0`。装有刹车执行器的整车，核对 `brake on` 已保存（§5.3）。

11.5 硬件 3.0 板首次烧写 0.5.0

硬件 3.0 板只能使用 0.5.x。出厂未烧写 0.5.x 的硬件 3.0 板，须先烧写 0.5.0：

1. 确认出厂登记的硬件版本为 3.0（上位机据此选择固件线）。
2. 烧写 0.5.0。烧写为整片擦除，板上原有的参数与标定全部清除。
3. 上电后确认 `ver` 输出 `hw_detected=3.0` 与 `crc ok`。
4. 车轮悬空，两路分别执行 `learn <m> auto`，再按 §3.2 录入四项， `save`。

---

12. 版本历史

12.1 固件

版本	日期	内容
0.5.0	2026-10-27	**仅硬件 3.0**，首个硬件 3.0 版本，包含 0.4.29 的全部功能：开机识别硬件版本，镜像与电路板不符时拒绝打开功率级（§1.4.1）；栅极驱动器故障接入定时器刹车输入，硬件直接封锁 PWM（§8.3）；CN3 模拟刹车与断线检测（`[25] brake-wire`）、SW3 本地锁拨码、两路板温降额（`[24] board-hot`）（§1.3.2、§8.1）；台架命令看门狗（§8.2）；无急停输入（§8.3）；`=tlm` 增加 `hw_detected` 及刹车 / 板温各键（§10.1）。
0.4.29	2026-09-24	修复惯量标定：速度预测只用于采集规划，不再错误地提前拒绝或使记录窗口过短；失败报告区分「已采样」和「未拟合」。
0.4.28	2026-09-23	修复 ADC 采样串扰、双路零点互相污染与窗口扫描激励过量，增加停转检查；镜像描述头增加扩展段，记录镜像所针对的板型与硬件版本。
0.4.27	2026-09-16	整片擦除后开机提示同时列出霍尔表与电流环整定需要恢复（`hall dump` 可不转电机恢复霍尔表）；含 0.4.25、0.4.26 的内容。
0.4.26	—	未单独发布。电流环带宽 `bw` 为 0 时写入 R / L 被拒绝，并提示顺序 bw → R → L → save；`save` 指出未整定电流环的通道。
0.4.25	—	未单独发布。硬件版本号改为 2.0（`id` 的 `hw_rev=`、`=tlm build` 的 `hw=`）；控制台把 `pp <m> <n>` 作为极对数的首选，`learn <m> pp` 标明为铭牌缺失时的兜底方法（§3.2）。
0.4.24	2026-09-10	`=tlm` 的 `sys` 记录追加 `rst_wdog` / `rst_cpu` / `rst_trip` 三个键，报告上一次运行是否因看门狗、处理器故障或跳闸结束，遥测版本号不变（§10.1）。
0.4.23	2026-09-10	上电自检因供电原因失败时，母线回到 10–45 V 并稳定 1 秒后自动重试一次（每次供电恢复只试一次，霍尔 / 斩波类故障不自动清除），控制台增加 `POST retry:` / `re-armed:` / `cannot re-arm:` 三种固定前缀的输出（§8.5）。
0.4.22	2026-09-10	`0x210` 挡位字节 bit7 定义为清故障（上升沿触发），执行与串口 `clear` 相同的全部操作（§8.6）。
0.4.21	2026-09-10	构建时校验 flash 分区地址的一致性，开机横幅改为读取镜像描述头中的板型和硬件版本。
0.4.20	2026-09-08	`hall dump` 输出的恢复命令改为一个 30 位十六进制串（五个参数，约 47 字符），可在控制台完整输入。
0.4.19	2026-09-08	主电源中断后恢复时，`clear` 同时重启电流测量链（§8.4）。
0.4.18	2026-09-07	应用区改为单槽、无回滚（§11.1），`learn <m> rl` 拒绝时报告判定所用的数值并给出复核命令，`=tlm veh` 追加 `gearblk` / `gearsel` / `gearsrc` / `thrsrc` / `armwhy` 五个键（§10.1），纯 CAN 控制的整车可自动起桥（§5.5）。
0.4.17	2026-09-03	背景 ADC 采样改为 DMA，母线注入组不再被关闭，`learn <m> rl` 的点间等待从 60 ms 延长到 250 ms 并在测量前等待转子静止（每次 `rl` 约增加 0.8 秒），电流零点测不到样本时改为拒绝执行，不再触发看门狗复位。
0.4.16	2026-09-02	修复背景采样关闭母线注入组、导致欠压保护不动作的问题（此前发布的固件均受影响），新增故障码 `[23] vbus-sense`（§8.1），`safety` 行增加 `conv` / `bridges` 两个字段，栅驱关闭时心跳不再将量程底值显示为电流。
0.4.15	2026-09-02	新增极简模式与踏板使能手势（默认开）、踏板零点重映射、`learn <m> auto`、「测量 / 录入」两张标定表（`=calib` 帧版本 2，极对数不再属于必需步骤）、板载电位器总开关 `pot_debug`（默认关）和 `armed` / `partial` / `refused` 三个蜂鸣音型。
0.4.14	2026-09-01	修复发布包校验清单漏项，该问题导致 0.4.12 / 0.4.13 客户端下载不完整。

版本	日期	内容
0.4.13	2026-09-01	新增 `id` 命令，用一行输出本板身份信息。
0.4.12	2026-09-01	遥测中增加板型自报，上位机无需人工选择板型。
0.4.11	2026-08-29	新增台架旋钮 `pot_bench_ma`、本地锁（`lock`，上报到 CAN `0x211[7]` bit6）和随包发布的机器可读命令表 `COMMANDS.json`。

注：0.4.12 与 0.4.13 已从发布服务器索引中移除（这两版的发布包校验清单不完整， 客户端下载会失败）。请使用 0.4.14 或更高版本。

功能与版本的对应关系（上位机与整车文档编写前置条件时以本表为准）：

功能	起始版本
硬件 3.0 支持（开机识别、硬件封波、模拟刹车、SW3、板温降额、台架命令看门狗）	**0.5.0**（仅硬件 3.0）。0.4.x 不支持硬件 3.0，不得烧到硬件 3.0 板上
`=tlm build` 的 `hw=`	0.4.25
标定备份 `hall dump` / `hall set`	**0.4.20**。0.4.19 已有这两条命令，但 `dump` 输出的命令行无法输入，0.4.20 之前无法备份标定
`clear` 重启电流测量链	**0.4.19**。更早版本在主电源中断后只能复位整块板（§8.4）
单槽、无回滚	**0.4.18**。从 0.4.17 及更早版本升级时为整片重新烧写
`=tlm veh` 的 `gearblk` / `gearsel` / `gearsrc` / `thrsrc` / `armwhy`	**0.4.18**。更早的固件不报告挡位被拒绝的状态
纯 CAN 整车自动起桥（挡位归总线 + 链路有效 + `ALLOW_DRIVE`）	**0.4.18**。更早的固件上此类整车在默认设置下无法起桥，且不提示原因，须升级（§5.5）
故障码 `[23] vbus-sense`	**0.4.16**。更早的固件没有该项检查，母线快速读数停止时不报告
极简模式 / 踏板手势 / `learn auto` / `calib` v2 / `pot_debug`	**0.4.15**
`id` 命令	0.4.13
`COMMANDS.json` / 本地锁 / 台架旋钮	0.4.11
CAN `0x211[0]` bit7 刹车使能位	早期固件该位恒为 0，与「未使能」无法区分。接入安全判据之前须确认固件版本

12.2 本书

版本	日期	说明
Rev. 1.8	2026-10-27	增列适用硬件 3.0（固件 0.5.0），硬件 2.0 对应固件更新到 0.4.29：新增 §1.4、§11.5，修订扉页、§1.1、§1.3、§2.4、§3.2、§5.1、§5.3、§8.1 – §8.3、§10.1、§11.2、§11.4、§12 – §14。
Rev. 1.7	2026-09-17	文字修订，内容不变。
Rev. 1.6	2026-09-10	对应固件 0.4.24，修订 §10.1。
Rev. 1.5	2026-09-10	对应固件 0.4.23，新增 §8.5、§8.6，修订 §10.4 与扉页。

版本	日期	说明
Rev. 1.4	2026-09-08	修订 §11.3。
Rev. 1.3	2026-09-08	对应固件 0.4.20，重写 §11，新增 §5.5、§8.4，修订 §10.1 与 §12。
Rev. 1.2	2026-09-04	新增 §1.3，修订 §5.1。
Rev. 1.1	2026-09-03	对应固件 0.4.17，修订 §8.1 与 §12。
Rev. 1.0	2026-09-02	首版，对应固件 0.4.15。

13. 已知限制（固件侧）

硬件侧的限制见《产品规格书》「已知限制与使用须知」一章，本表只列固件侧限制。

#	项	说明
A	位置模式静止分辨率 ±30° 电角	由霍尔反馈决定，调整增益不能改善。见 §4.2
B	持续低速大电流爬坡时被热模型降额	车辆动力减弱属于保护动作，不是误动作
C	CAN 转向字段解析并回报，但不执行	差速转向混合律未标定
D	CAN 升级协议开发中	当前升级通过串口
E	磁链 λ / Ke 不写入 Flash	仅用于诊断，断电后需重新执行
F	绕组热模型的时间常数为估计值	时间常数只影响达到降额点的快慢，不影响降额点（降额点由实测电阻和铭牌功率决定）。不能据此推算「峰值可持续 X 秒」一类数据，该数据须用仪器实测；硬件 2.0 板上无温度传感器，硬件 3.0 的板温 NTC 测的是功率级，不是绕组
G	同时装有挡位开关并开启极简模式的整车，手势完成后开关拨到 N 不起作用	见 §6.6。此类整车请关闭极简模式
H	硬件 3.0 没有急停输入	电源开关即为停机手段；整机急停须在板外实现。见 §8.3
I	硬件 3.0 的板温降额门限（70 °C 起、100 °C 降至零）为保守取值	后续版本可能按实测调整，以板上 `fault codes` 与版本历史为准

14. 附录：命令一览

命令以板上 `help` 的输出为准。下表按用途分组，标记含义见 §2.2。

查询（全部 [不运动]）

命令	作用
`help` / `?`	全部命令
`ver`	固件版本、镜像长度、CRC、MCU 唯一 ID

命令	作用
`id`	一行输出本板身份信息
`stat`	各通道当前状态
`report`	完整换算链，每一级标明来源
`tlm`	同 `report` 内容，键=值格式，供程序读取
`fault` / `fault codes`	当前故障 / 完整故障表
`hall`	霍尔码、扇区、转速、错误计数
`phase` / `io` / `chop` / `can` / `slim` / `prof`	相电流、开关量、泄放、CAN、限幅、性能剖面
`dump` / `hdump`	录波结果

设置与存储（全部 [不运动]）

命令	作用
`setup`	尚未完成的设置项
`param list` / `get` / `set`	参数表
`pp <m> <n>`	极对数
`trip` / `stall` / `therm` / `slim` / `plim` / `dtc` / `env` / `smp`	保护门限与环路设置
`save` / `load` / `forget`	存储 / 读取 / 恢复出厂值
`beep [名字]`	试听蜂鸣音型
`estop` / `lock` / `rc` / `hmi` / `boot`	急停（硬件 3.0 无急停输入，`estop on` 被拒绝）、本地锁、遥控协议、屏、引导

标定（除 `pp` 外全部 [运动]）

命令	作用
`learn <m> auto`	一次执行四个必需步骤
`learn <m> wiring | rl | hall | inertia`	单步测量
`learn <m> pp`	极对数计数。[不运动] 桥必须关断，由人手动转动车轮
`learn <m> window | flux`	可选步骤
`calib list` / `calib status`	两张表与进度
`cal`	电流零点
`thr cal`	踏板行程标定

开关

命令	作用	标记
`en <m>`	该路功率级带电	[带电]
`dis <m>`	关断该路的桥	[不运动]
`stop`	立即关断两个桥，不带参数，不检查前提条件	[不运动]
`clear` / `rearm`	重新使能	[不运动]

直接命令电机（全部 [运动]）

命令	作用
`mode <m> idle | ol | torque | speed | position`	选择控制环
`iq <m> <mA>`	转矩
`sref <m> <elec rad/s>`	转速（控制台换算为 rpm 并打印）
`pref <m> <deg>`	位置（机械角）
`volt` / `spd`	开环电压 / 开环转速
`step` / `rec`	阶跃响应与录波

整车

命令	作用	标记
`drive`	各控制源、合并结果、实际生效的限速	[不运动]
`drive on` / `off`	需求能否到达电机	[带电] / [不运动]
`drive wheel | watts | limit | band | imax | invert | auto | regen`	整车设置	[不运动]
`gear` / `band` / `thr`	由控制台设置挡位 / 档位 / 油门	[运动]
`brake on | off | apply | release`	刹车驱动	[带电]
`road`	撤销台架设置，交由踏板控制	[不运动]

© Daliang Auto · 双路 FOC 电机驱动板 出厂固件说明书